

*Tadeusz Pawłowski, Jan Szczepaniak*  
*Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu*

## **WSPÓŁCZESNA METODYKA PROJEKTOWANIA I WERYFIKACJI KONSTRUKCJI MASZYN ROLNICZYCH**

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono przebieg prac projektowych maszyn rolniczych przeprowadzany z wykorzystaniem nowoczesnych systemów komputerowych. Umożliwiają one przeprowadzanie efektywnych symulacji i analizę zachowań maszyny przed powstaniem prototypu.

**Słowa kluczowe:** maszyny rolnicze, model, projektowanie, symulacje, badania

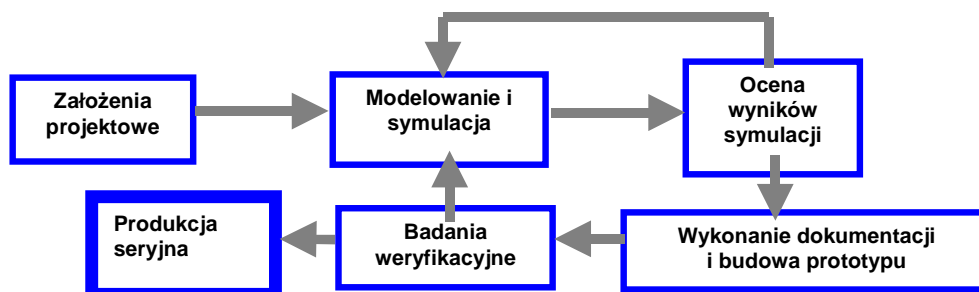
### **Wprowadzenie**

W ostatnich latach w branży maszyn rolniczych obserwuje się istotne zmiany w metodach prac konstrukcyjno-technologicznych, dokonujące się wskutek rozwoju komputerowych systemów wspomagania projektowania i wytwarzania. Także w polskich przedsiębiorstwach powszechna jest świadomość konieczności wprowadzenia zmian do dotychczasowych metod pracy. Wynika ona z doświadczeń wyniesionych ze współpracy z partnerami z krajów wysoko uprzemysłowionych oraz z narastającego przekonania, że jest to nieodzowny warunek rozwoju przedsiębiorstwa.

Celem pracy jest przedstawienie praktycznego wykorzystania narzędzi symulacyjnych wykorzystywanych w PIMR do analizy i doskonalenia wdrażanych do produkcji maszyn rolniczych.

### **Podstawowy schemat prac projektowych**

Przebieg prac związanych z zaprojektowaniem i wdrożeniem nowych maszyn rolniczych można podzielić na kilka etapów przedstawionych na rys. 1.



Rys. 1. Schemat procesu projektowania i wdrażania do produkcji

Fig. 2. Diagram of design and practical application

Istotną cechą postępowania według tego schematu jest możliwość sprawdzenia przyjętych rozwiązań przed budową prototypu za pomocą obliczeń symulacyjnych. Powala to przystąpić do jego budowy z dużym prawdopodobieństwem poprawności przyjętych rozwiązań (w zakresie objętym symulacją), a zatem uzyskać znaczne oszczędności czasu i pieniędzy przeznaczanych zwykle na budowę i doskonalenie kolejnych prototypów.

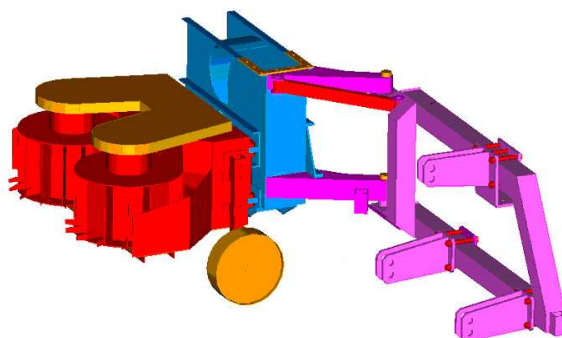
### Założenia projektowe

Wstępny projekt maszyny jest zwykle zapisany w postaci szkiców i rysunków technicznych tworzonych ręcznie lub za pomocą programów komputerowych. Może to być projekt o różnym stopniu szczegółowości. Niektóre jego elementy mogą być dopracowywane w trakcie obliczeń symulacyjnych (np. przekroje belek, współrzędne mocowania elementów, grubości blach). Niekiedy już na tym etapie powstaje model trójwymiarowy, a dokumentacja techniczna tworzona jest na jego podstawie. Jeżeli nie, to następnym etapem pracy jest opracowanie takiego modelu. W PIMR wykorzystywany jest do tego system MSC/Patran lub I-Deas. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy model 3D silosokombajnu do zbioru kukurydzy.

### Modelowanie i symulacja

Geometryczny model trójwymiarowy jest podstawą do tworzenia modeli wykorzystywanych podczas obliczeń symulacyjnych. Na wstępnym etapie projektowania przeprowadzane są zwykle symulacje zachowań kinematycznych badanej konstrukcji. Model obliczeniowy jest wówczas zwykle znacznie uproszczony. Elementy konstrukcyjne, które nie wywierają istotnego wpływu na wyniki przeprowadzonych symulacji mogą zostać w modelu pominięte. Na przykład, podczas symulacji pracy zestawu składającego się z ciągnika i wału Campbella zawieszzonego na uchylnym ramieniu, w dużym uproszczeniu zamodelowano sam wał, który nie podlegał analizie, a którego uwzględnienie było konieczne ze względu na generowanie sił

bezwładności. W modelu reprezentuje go tylko belka o odpowiedniej masie i parametrach bezwładnościowych zawieszona na ramieniu wysięgnika (rys. 3). Możliwie dokładnie odwzorowano natomiast sposób utwierdzenia, połączenia między częściami (bryłami sztywnymi) oraz siły występujące w modelu, tak by zachować ich fizyczny sens. Szczególną uwagę poświęcono natomiast zamodelowaniu siły występującej w siłowniku podnoszącym i opuszczającym ramię agregatu.



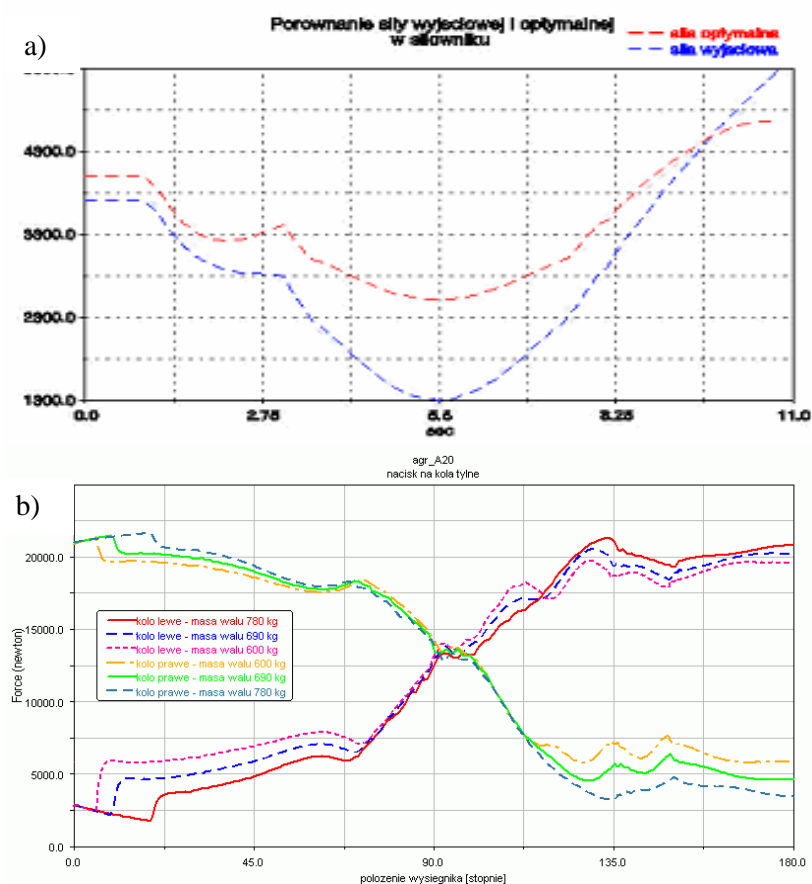
Rys. 2. Trójwymiarowy model silosokombajnu do zbioru kukurydzy  
Fig. 2. 3D model of corn forage harvester



Rys. 3. Model zestawu ciągnik – wahadłowy wał Campbella a) w pozycji transportowej b) podczas opuszczania ramienia wysięgnika  
Fig. 3. Model of tractor-Campbell roller unit a) transport position b) during extension arm lowering

Symulacje zachowań kinematycznych umożliwiają zebranie informacji dotyczących kolejnych faz pracy analizowanego urządzenia, stateczności w czasie pracy oraz sił działających w węzłach konstrukcji. Wykonywane są także obliczenia optymalizacyjne umożliwiające np. zmniejszenie sił występujących podczas pracy

maszyny. Użytkowany w PIMR system ADAMS umożliwia definiowanie własnych funkcji kryterialnych oraz swobodny wybór zmiennych decyzyjnych. Rys. 4a przedstawia wartości siły w siłowniku ładowacza czołowego przed optymalizacją i po optymalizacji. Funkcją kryterialną była wartość maksymalna siły występującej w siłowniku w czasie podnoszenia czerpaka ładowacza, a zmiennymi decyzyjnymi były współrzędne punktów mocowania siłowników. Rys. 4b przedstawia wyniki uzyskane podczas analiz stateczności zestawu pokazanego na rys. 3.

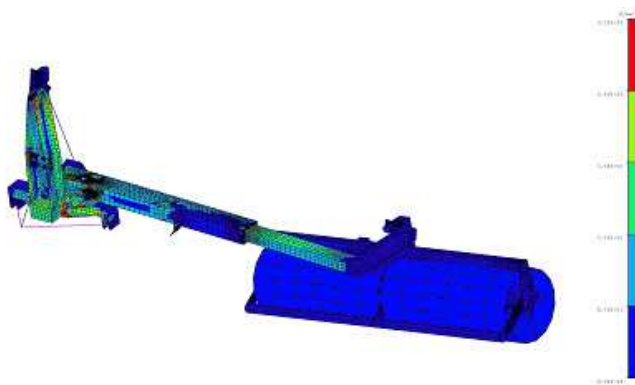


Rys. 4. Przykładowe wyniki symulacji zachowań kinematycznych maszyn rolniczych: a) wartości sił w siłowniku ładowacza czołowego przed optymalizacją i po optymalizacji; b) nacisk na tylne koła ciągnika, w czasie podnoszenia i opuszczania wału uprawowego (rys. 3)

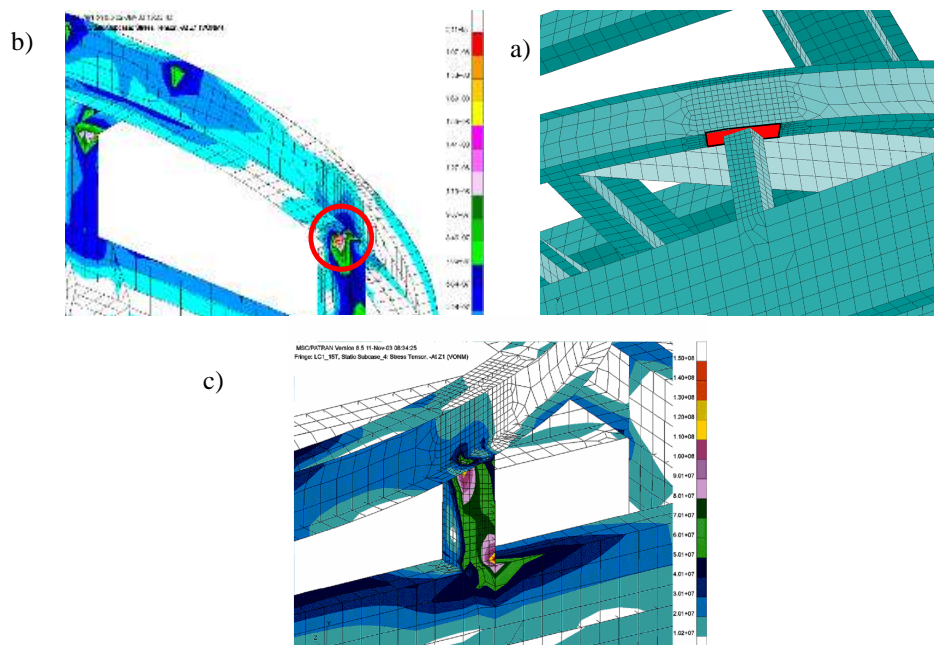
Fig. 4 Sample of kinematic simulation results a) force value in front loader hydraulic servo before optimization and after optimization b) tractor rear wheel load during Campbell roller lifting and lowering

Wyniki uzyskane dzięki symulacji zachowań kinematycznych są wykorzystywane do sprawdzania i ewentualnej modyfikacji konstrukcji, a także (szczególnie wartości sił) podczas obliczeń wytrzymałościowych.

Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzane są w drugim etapie symulacji. Wykonywane są najczęściej za pomocą systemów wykorzystujących metodę elementów skończonych (MES) (np. I-Deas, MSC/Nastran). Dla ich przeprowadzenia należy utworzyć odpowiedni model, różniący się od modelu wykorzystywanego do symulacji kinematycznych (rys. 5). Obliczenia wytrzymałościowe dostarczają dokładnych informacji dotyczących wyężenia analizowanej konstrukcji w różnych warunkach pracy (naprężenia, przemieszczenia siły reakcji). Umożliwiają lokalizację miejsc narażonych na uszkodzenia oraz wprowadzenie do projektu niezbędnych zmian. Na rys. 6 przedstawiono fragment konstrukcji kombajnu do przetwarzania materiału organicznego, w którym wystąpiło przekroczenie dopuszczalnych wartości naprężeń zredukowanych oraz zmianę w konstrukcji zmniejszającą poziom naprężeń z 211 MPa do 150 MPa. Programy obliczeń wytrzymałościowych MES wykorzystywane są też do przeprowadzania optymalizacji konstrukcji. Najczęściej polega ona na minimalizacji masy projektowanej maszyny, przy zachowaniu wymagań wytrzymałościowych, przemieszczeniowych oraz statecznościowych.



Rys. 5. Model MES wahadłowego wału uprawowego w pozycji roboczej (z wałem opuszczonym) z zaznaczonymi wartościami naprężeń zredukowanych  
Fig. 5. FEM model of pendulous Campbell roller in working position (with lower roller) with reduced stress map



Rys. 6. Przykład modyfikacji konstrukcji kombajnu do przetwarzania materiału organicznego zmniejszającej występujące naprężenia zredukowane a) fragment konstrukcji, w którym wystąpiło przekroczenie dopuszczalnych wartości naprężeń zredukowanych (211 MPa) b) wprowadzona zmiana zaznaczona na czerwono c) wartości naprężeń po wprowadzonej zmianie (150 MPa)

Fig. 6. Example of manure processing combine structure modification decreasing reduced stress a) construction part where not acceptable reduced stress value appear (211 Mpa) b) the change of structure marked as red c) reduced stress value after structure change (150 MPa)

## Badania weryfikacyjne

Po zakończeniu obliczeń symulacyjnych oraz zbudowaniu prototypów przeprowadzane są dodatkowe badania laboratoryjne i polowe w celu potwierdzenia poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Dzięki właściwemu wykorzystaniu metod zaprezentowanych powyżej, w zakresie cech objętych obliczeniami symulacyjnymi, prototyp jest na ogół skonstruowany poprawnie. Obliczeniami tymi nie są zwykle objęte funkcje obróbki masy roślinnej np. zbiór roślin, ich separacja (np. ziemniaków w kombajnach ziemniaczanych). Nie jest też na ogół możliwe dokładne zamodelowanie interakcji maszyny z otoczeniem.

Do badań wykorzystywana jest nowoczesna wielokanałowa aparatura umożliwiająca zebranie dużej liczby danych z czujników rozmieszczonych w wielu punktach badanej maszyny (rys. 7). Najczęściej wykorzystywane są czujniki do pomiaru naprężeń oraz przyspieszeń. Uzyskiwane wyniki przetwarzane są do postaci wygodnej dla użytkownika (rys.8) za pomocą opracowanych w PIMR programów komputerowych, działających w środowisku Matlab.

### Wnioski

Wyniki uzyskane z symulacji modeli maszyn rolniczych oraz z przeprowadzanych następnie badań wykazują dużą zbieżność. Zatem prowadzenie obliczeń symulacyjnych na wstępnych etapach projektowania pozwala na wielowariantową analizę i porównywanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych przed budową prototypu. Możliwe jest także przeprowadzanie efektywnych obliczeń optymalizacyjnych poprawiających jakość i obniżających koszty wytwarzania analizowanych maszyn.

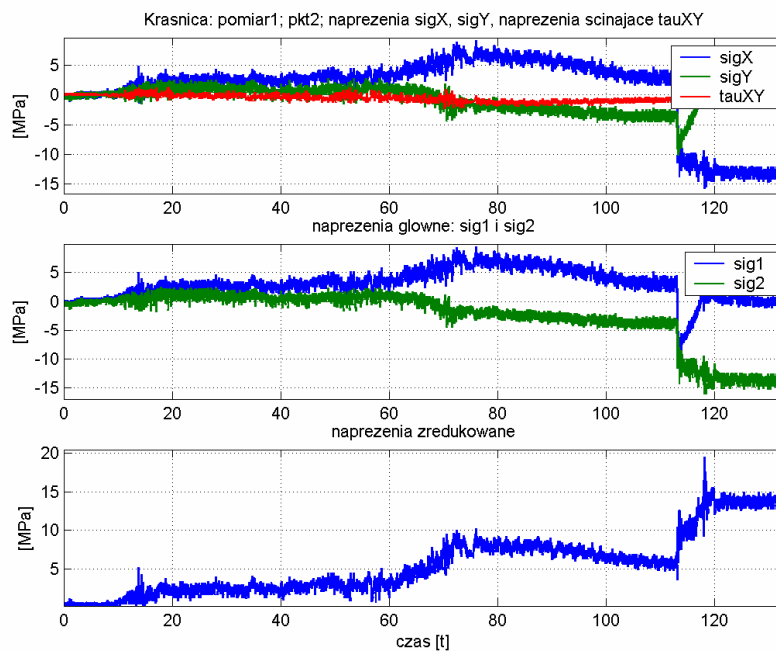
Inwestycje poniesione na etapie projektu na przeprowadzanie obliczeń symulacyjnych zwracają się dzięki uniknięciu wielokrotnego nieraz przekonstruowania prototypu i uzyskiwania produktu o wysokiej jakości i trwałości „przy pierwszym podejściu”.



Rys. 7. Aparatura badawcza umieszczona w kabinie ciągnika

Fig. 7. Test equipment in tractor driver's cab





Rys. 8. Wykresy naprężeń zarejestrowanych podczas pracy prasy zwijającej  
Fig. 8. Stress charts obtained during roll baler work

## Bibliografia

Szczepaniak J., Rutkowski J. 2004. Typoszereg wałów uprawowych o szerokościach roboczych 9,12 i 15 metrów. Zadania 2,3,4, PIMR, Poznań.

Kęska i in. 2003. Modelowanie matematyczne agregatu uprawowego i jego symulacja w aspekcie kinematycznym i dynamicznym, celem oceny prawidłowości doboru głównych parametrów konstrukcyjnych, PIMR, Poznań.

Szczepaniak J. i in. 2004. Linia technologiczna maszyn do produkcji sianokiszonek. Zadania 6,7,8, PIMR, Poznań.

Szczepaniak J. i in. 2002. Kombajn do przetwarzania materiału organicznego. Zadanie 3, PIMR, Poznań.



**MODERN METHODS OF AGRICULTURAL MACHINE  
DESIGNING AND VERYFICATION**

**Summary**

Designing process of agricultural machine with modern computer systems was presented in the paper. Its enable carrying out efficiently simulation and analysis of machine behaviour before prototype is made.

**Key words:** agricultural machine, model, designing, simulation, testing